



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA

EUGENIO PACHELLE XAVIER PIMENTEL FILHO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO
INTEREST ENGENHARIA LTDA.

CAMPINA GRANDE
NOVEMBRO DE 2014

EUGENIO PACHELLE XAVIER PIMENTEL FILHO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO
INTEREST ENGENHARIA LTDA.

Relatório de Estágio submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica

Área de Concentração: Proteção de Sistema Elétricos de Potência

Orientador: Francisco das Chagas Fernandes Guerra

CAMPINA GRANDE
NOVEMBRO DE 2014

EUGENIO PACHELLE XAVIER PIMENTEL FILHO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO
INTEREST ENGENHARIA LTDA.

Relatório de Estágio submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica

Francisco das Chagas Fernandes Guerra

Professor Orientador

Professor Convidado

CAMPINA GRANDE
NOVEMBRO DE 2014

Aos meus pais.

Agradecimentos

Agradeço a meus pais, Pachelle e Luzineide, por todo amor, carinho e ensinamentos durante toda minha vida.

Agradeço também a toda minha família, que mesmo com a distância, sempre acompanhou de perto meu crescimento pessoal e profissional.

Meus agradecimentos aos amigos feitos durante a graduação, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação, e que espero que possam continuar presentes em minha vida.

Agradeço ao professor Francisco das Chagas Fernandes Guerra, meu orientador, pela orientação, paciência e empenho dedicado à elaboração deste trabalho.

E finalmente, gostaria de agradecer ao corpo docente, à direção e à administração por seu trabalho na formação de todos os alunos desta instituição.

“Só a mudança é permanente.” Humberto Gessinger

Lista de Figuras

<i>Figura 1 - Unidades lógicas básicas envolvidas em um relé de proteção digital.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2 - Representação de arranjo disjuncto e meio.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3 - Representação unifilar do arranjo da subestação.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 4 - Representação das entradas de um relé digital.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 5 - Representação das saídas digitais de um relé digital.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 6 - Representação das lógicas de proteção configuradas em um relé digital.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 7 - Montagem dos chassis de proteção.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 8 - Medido de espessura.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 9 - Medição da corrente de fuga através do hi-pot.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 10 - Conexão entre GIGA e painel de proteção.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 11 - Relé SEL421.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 12 - Visão funcional simplificada do Relé SEL421.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 13 - Omicron 356.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 14- Test Universre, Omicron 356.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 15 - QuickMC.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 16 – StateSequencer.....</i>	<i>30</i>

Lista de Tabelas

Nenhuma entrada de índice de ilustrações foi encontrada.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
2	A EMPRESA.....	10
3	O ESTÁGIO	11
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
4.1	DESCRIÇÃO GERAL DE UMA SUBESTAÇÃO.....	11
4.2	PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS.....	12
4.3	RELÉS DIGITAIS.....	12
5	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.....	15
5.1	ESTUDO DE DESENHOS FUNCIONAIS E DIAGRAMAS LÓGICOS	16
5.2	INSPEÇÃO DE PAINÉIS DE PROTEÇÃO	22
5.2.1	<i>Teste de Espessura da Pintura</i>	<i>22</i>
5.2.2	<i>Teste de Aderência da Pintura</i>	<i>23</i>
5.2.3	<i>Medição da Isolação da Fiação</i>	<i>23</i>
5.2.4	<i>Verificação de Potenciais, Entradas e Saídas do Relé.....</i>	<i>24</i>
5.3	ACOMPANHAMENTO DE TESTE DE ACEITAÇÃO DE FÁBRICA.....	24
5.3.1	<i>Relé SEL421.....</i>	<i>26</i>
5.3.2	<i>Caixa de Testes Omicron 356.....</i>	<i>27</i>
5.4	AUXÍLIO E ELABORAÇÃO DE PROJETOS ELÉTRICOS DO <i>RETROFIT</i>	30
6	CONCLUSÃO	31
7	BIBLIOGRAFIA	32

1 Introdução

Este relatório de estágio integrado tem como objetivo fazer uma descrição, de maneira sucinta, das atividades desenvolvidas, experiências e aprendizados adquiridos durante o período na INTEREST Engenharia Ltda, desde o estudo de diagramas funcionais a atividade realizadas em campo.

O Sistema Elétrico Brasileiro está crescendo em tamanho e complexidade, passando por alterações que implicam num maior grau de exigência da sociedade, onde os agentes do setor elétrico estão sujeitos à aplicação de penalidades, somado à condição de operação do sistema perto de seus limites físicos.

O sistema elétrico não se encontra imune às perturbações, defeitos e falhas diversas provenientes de fatores internos e externos. Nesse contexto, a modernização dos sistemas vem sendo uma atividade posta em prática pelas concessionárias de transmissão e distribuição de energia elétrica. No caso mais específico do nordeste, a CHESF vem atualizando, através do *retrofit*, o sistema de proteção de suas subestações de transmissão., no qual a eficiência e velocidade da Proteção e Controle têm sido substancialmente elevadas graças aos Equipamentos Digitais Inteligentes (IED).

Os relés evoluíram tecnologicamente, desde os relés eletromecânicos até os IED's. Estes comportam diversas funções de proteção em apenas um componente, o que antes era feito por equipamentos separados, o que ocasionava a ocupação de muito espaço nas cabanas de relés das subestações. Além disso, os relés digitais são de ajuste e manutenção mais fácil, além de poderem se comunicar por meio de cabos de rede entre si e com unidades terminais remotas, entre outras vantagens, garantindo maior segurança e seletividade. Em contrapartida, os relés digitais têm duração menor devido aos rápidos avanços da eletrônica e de softwares, devendo ser atualizados num curto intervalo de tempo.

O trabalho esta organizado em cinco capítulos. O primeiro faz uma pequena descrição da empresa. O segundo faz um resumo sobre as atividades desenvolvidas no estágio. O terceiro contempla uma revisão de conhecimento essenciais para o desenvolvimento das atividades realizadas, descritas no capítulo quatro. O último capítulo contém as considerações finais.

2 A Empresa

A INTEREST Engenharia é uma empresa especializada em consultoria e projetos de engenharia de sistemas de transmissão e geração de energia elétrica. Fundada em 1990, em seu portfólio incluem-se ainda os serviços de acompanhamento e fiscalização de obras e os serviços de instalação, montagem e "retrofit" de painéis de proteção e controle.

O seu corpo técnico é formado por engenheiros e técnicos especialistas, com reconhecida experiência, que se destacaram durante a sua carreira profissional, nas áreas de estudos, projetos e implantação de sistemas elétricos de potência, envolvendo-se diretamente com vários empreendimentos de destaque da engenharia nacional.

As áreas de atuação podem ser divididas em duas: a primeira é na área projetos e estudos de engenharia e a segunda é a de engenharia de campo.

Na primeira área, a Interest fornece diversos serviços referentes à:

- Subestações de alta e extra alta tensão: projeto básico e o projeto executivo; projetos de recapitação para substituição de sistemas de proteção eletromecânicos ou estáticos por sistemas digitais; especificações de sistemas de medição, proteção, comando, controle e supervisão; assessoria no processo de aquisição de equipamentos e materiais, etc.
- Usinas Hidrelétricas e Termelétricas: projeto básico e o projeto executivo de medição, proteção, comando, controle e supervisão; projetos de recapitação para substituição de sistemas de proteção eletromecânicos ou estáticos por sistemas digitais; estudos de coordenação e seletividade de proteções, etc.
- Sistemas Industriais e de Média e Baixa Tensão: projetos de instalações elétricas industriais; projetos de estações de bombeamento e tratamento da água para saneamento e irrigação; especificação de equipamentos, etc.

Já na área de Engenharia de Campo, oferece os seguintes serviços:

- Gerenciamento e acompanhamento de obras;
- Fiscalização de usinas e subestações em operação;
- Fiscalização de montagem;

- Recapitação para substituição de sistemas de proteção eletromecânicos ou estáticos por sistemas digitais;
- Inspeção técnica de materiais e equipamentos elétricos;
- Comissionamento de equipamentos.

A Interest Engenharia possui a seguinte política de qualidade: "Comprometimento de toda a organização com a melhoria contínua dos Serviços de Engenharia e do Sistema de Gestão da Qualidade, visando a satisfação dos clientes e colaboradores".

3 O Estágio

O estágio integrado foi desenvolvido na equipe de projetos elétricos e de comissionamento e execução do *retrofit* de linhas de transmissão de 230 kV e 500 kV pertencentes ao sistema Chesf. O estágio aconteceu entre 28/04/2014 a 27/10/2014, com uma carga horária semanal de quarenta horas, sob a orientação de Osvaldo Maturaba.

As atividades desenvolvidas durante esse tempo foram:

- Estudo de Desenhos Funcionais e Diagramas Lógicos;
- Inspeção de painéis de proteção;
- Acompanhamento de Teste de Aceitação de Fábrica (TAF);
- Auxílio e elaboração de projetos elétricos executivos do *retrofit*.

4 Fundamentação Teórica

Neste capítulo serão abordados conteúdos essenciais para o desenvolvimento das atividades realizadas durante o período de estágio.

4.1 Descrição Geral de uma Subestação

Uma subestação (SE) é uma instalação elétrica de alta potência, contendo equipamentos para transmissão, distribuição, proteção e controle de energia elétrica. Funciona como ponto de controle e transferência em um sistema de transmissão elétrica, direcionando e controlando o fluxo energético, transformando os níveis de tensão e funcionando como ponto de entrega para consumidores industriais.

As subestações podem ser classificadas como transformadoras e de manobras, de acordo com as duas funções básicas que executam no sistema. A primeira permite que a energia seja transmitida em tensões mais altas, por longas linhas de transmissão sem que

haja demasiadas perdas. Algumas convertem a tensão para níveis mais altos e geralmente, se encontram perto das unidades geradoras, são as transformadoras elevadoras. Enquanto que as abaixadoras convertem a tensão para níveis mais baixos para que sejam interligados com os centros de carga, ou seja, para que a energia seja entregue aos consumidores em níveis de tensões apropriados. As SE de manobra são destinadas ao seccionamento e interconexão de circuitos com o mesmo nível de tensão, para que seja possível a multiplicação e estabelecimento de diversas rotas para a transmissão de energia.

4.2 Proteção de Sistemas Elétricos

A proteção dos sistemas elétricos de potência é um área de extrema importância para o fornecimento da energia elétrica aos consumidores e para a segurança dos equipamentos que compõem o sistema elétrico. Essa área vem se desenvolvendo muito nos últimos anos, devido ao surgimento de novas tecnologias que possibilitaram a introdução da proteção digital através de relés microprocessados.

O sistema de proteção é composto por um conjunto de subsistemas integrados que interagem entre si com o objetivo de produzir a melhor atuação, ou seja, isolar a área defeituosa sem que esta comprometa o restante. Tais subsistemas são compostos por relés, disjuntores, transformadores de instrumentação e pelo sistema de suprimento de energia.

4.3 Relés Digitais

Os relés de proteção são considerados os componentes mais importantes do sistema de proteção, uma vez que a decisão lógica sobre a atuação em uma determinada região é feita por estes equipamentos. Devido a essa importância, os relés devem ser equipamentos extremamente confiáveis e robustos, pois suas funções só serão exigidas em condições anormais de operação.

É importante salientar que a tomada de decisão de um relé, isto é, o envio do sinal de abertura do disjuntor (trip), é determinada pelo tipo de função que o relé está executando e de suas configurações, já que cada aplicação exige uma parametrização específica de acordo com a topologia da rede elétrica, da filosofia de proteção adotada e da parte do sistema que se deseja proteger. A parte do sistema elétrico a qual o relé deverá atuar no sentido de protegê-la é conhecida como zona de proteção. Os

equipamentos para aplicação em sistemas de proteção devem possuir algumas propriedades básicas:

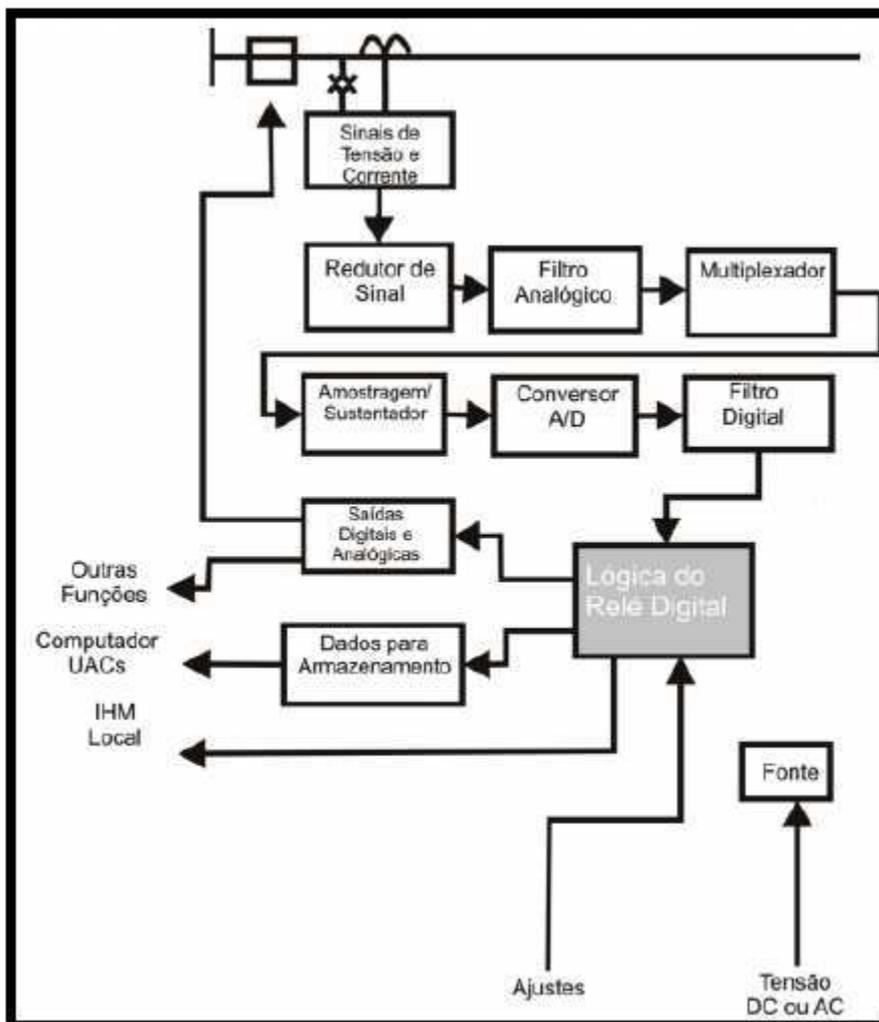
- **Confiabilidade:** assegurar que a proteção atuará corretamente quando for necessária, distinguindo entre situações de falta e condições normais de operação.
- **Seletividade:** maximizar a continuidade do serviço de fornecimento de energia, desconectando o mínimo do sistema em situações de falta.
- **Velocidade de operação:** minimizar o tempo de duração da falta e consequente perigo para os equipamentos.
- **Simplicidade:** mínimo de equipamentos de proteção e circuitos elétricos associados para executar os objetivos da filosofia de proteção desejada.
- **Economia:** máxima proteção com o mínimo de custo.

As empresas de transmissão e distribuição do setor elétrico estão buscando atualizar os sistemas de proteção através da troca de dispositivos ultrapassados (relés eletromecânicos) por outros mais modernos e confiáveis (relés digitais). Essa troca de proteções é conhecida como *retrofit*.

Os IEDs (Intelligent Electronic Devices) são unidades multifuncionais para a proteção, controle, automação, medição e monitoramento dos sistemas elétricos, permitindo o desenvolvimento de lógicas de intertravamento e bloqueio, ou seja, funcionalidades em uma única caixa.

As informações que esses relés obtêm do sistema elétrico podem ser distribuídas para diversos centros de controle de forma paralela. Os relés digitais também trouxeram benefícios na vida útil dos equipamentos de potência. Os blocos funcionais envolvidos em um relé microprocessado estão mostradas na Figura 1.

Figura 1 -Unidades lógicas básicas envolvidas em um relé de proteção digital.



Fonte: Acervo Interest Engenharia.

De maneira geral estes blocos realizam as seguintes funções:

- Entrada Analógica: Bloco por onde entram os sinais analógicos das correntes e tensão via transformador de corrente (TC) e transformador de potencial (TP);
- Redutor de Sinal: Produz adaptação dos sinais de entrada ao circuito do relé digital. Neste bloco, transformadores auxiliares produzem o desacoplamento físico entre os circuitos de entrada e de saída;
- Filtro Analógico: De acordo com a necessidade da função requerida, realiza uma filtragem dos sinais indesejados;
- Multiplexador: Faz a multiplexação dos sinais de entrada;

- Amostragem e sustentação: Prepara os sinais analógicos em sinais de amostragem por ciclo para a conversão em sinais digitais;
- Conversor A/D: Transforma os sinais amostrados em sinais digitais;
- Filtro Digital: Estabiliza os sinais digitais;
- Lógica do relé: Faz a lógica de operação do relé, a qual depende do algoritmo aplicado e da função de proteção desejada. Este bloco pode conter entradas digitais capazes de alterar a lógica de proteção do relé informando, por exemplo, o estado de disjuntores e chaves seccionadoras;
- Saídas digitais e analógicas: São destinadas a cumprir as funções do relé, podendo estar associadas a alarmes, controles, dados para supervisão, comando para outros relés e principalmente comando de abertura para disjuntores;
- Bloco de registro de eventos e oscilografia: Armazena dados necessários para efetuar análise do desempenho da atuação da proteção e das condições do sistema durante a ocorrência da falta;
- Interface Homem-Máquina (IHM): Dependendo do relé de proteção pode ser realizada diretamente no aparelho, através de um computador local ou de maneira remota.

5 Atividades Desenvolvidas

Todas as atividades realizadas durante o período de estágio estão relacionadas aos trabalhos desenvolvidos nos projetos de Retrofit desempenhados pela INTEREST. Este grande contrato executado pela empresa, consiste na substituição das proteções eletromecânicas, de 28 terminais de linhas de 500kV e 27 terminais de 230kV da CHESF, por proteções digitais.

Dentre as atividades desempenhadas pela INTEREST neste contrato, estão o fornecimento dos painéis de proteção, execução das obras, testes e comissionamento. Nesta seção estão descritas as atividades desempenhadas pelo estagiário em cada fase deste trabalho.

5.1 Estudo de Desenhos Funcionais e Diagramas Lógicos

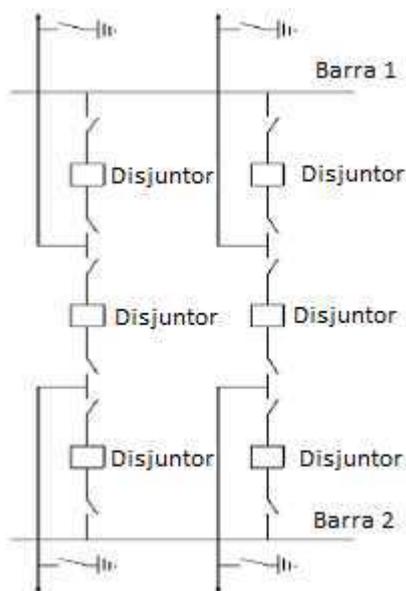
O projeto elétrico de uma subestação é elaborado a partir da geração de diversos documentos. Entre eles, um dos principais é o caderno funcional. Esse caderno contém o diagrama unifilar e trifilar da subestação, apresenta os pontos onde existe potencial, apresenta as entradas e saídas digitais do relé e também os relés auxiliares utilizados para multiplicação de contatos. Também é encontrado, geralmente ao fim do caderno funcional, a lógica de intertravamentos e de proteção que será gravada no relé.

A primeira atividade desenvolvida no estágio foi a familiarização com a leitura desse tipo de material de documentação, de forma que fosse possível identificar as características de cada subestação e de cada relé para poder prosseguir com o entendimento das lógicas de proteção e consequentemente com a correta programação e parametrização do relé.

Um dos diagramas estudados foi o de uma subestação da usina de Xingó, referente ao gerador 2 que esta presente no vão B, onde a CHESF adota o arranjo de barramento *disjuntor e meio*. A Figura 3 é a página do caderno funcional onde é apresentado o diagrama unifilar da subestação.

A nomenclatura disjuntor e meio deve-se ao fato de que para cada duas conexões à barra, necessitamos de três disjuntores ou seja, para cada conexão um disjuntor e meio, como pode ser observado no diagrama presente na Figura 2. Na ocorrência de defeito em um dos circuitos, três disjuntores protegem dois circuitos em uma configuração com dois barramentos. A ocorrência de falha em uma das barras não provocará o desligamento dos circuitos, apenas irá ocorrer a retirada da barra para a manutenção. A vantagem deste esquema é que qualquer disjuntor ou barra podem ser retiradas de operação para a manutenção sem afetar os circuitos.

Figura 2 -Representação de arranjo disjunto e meio.



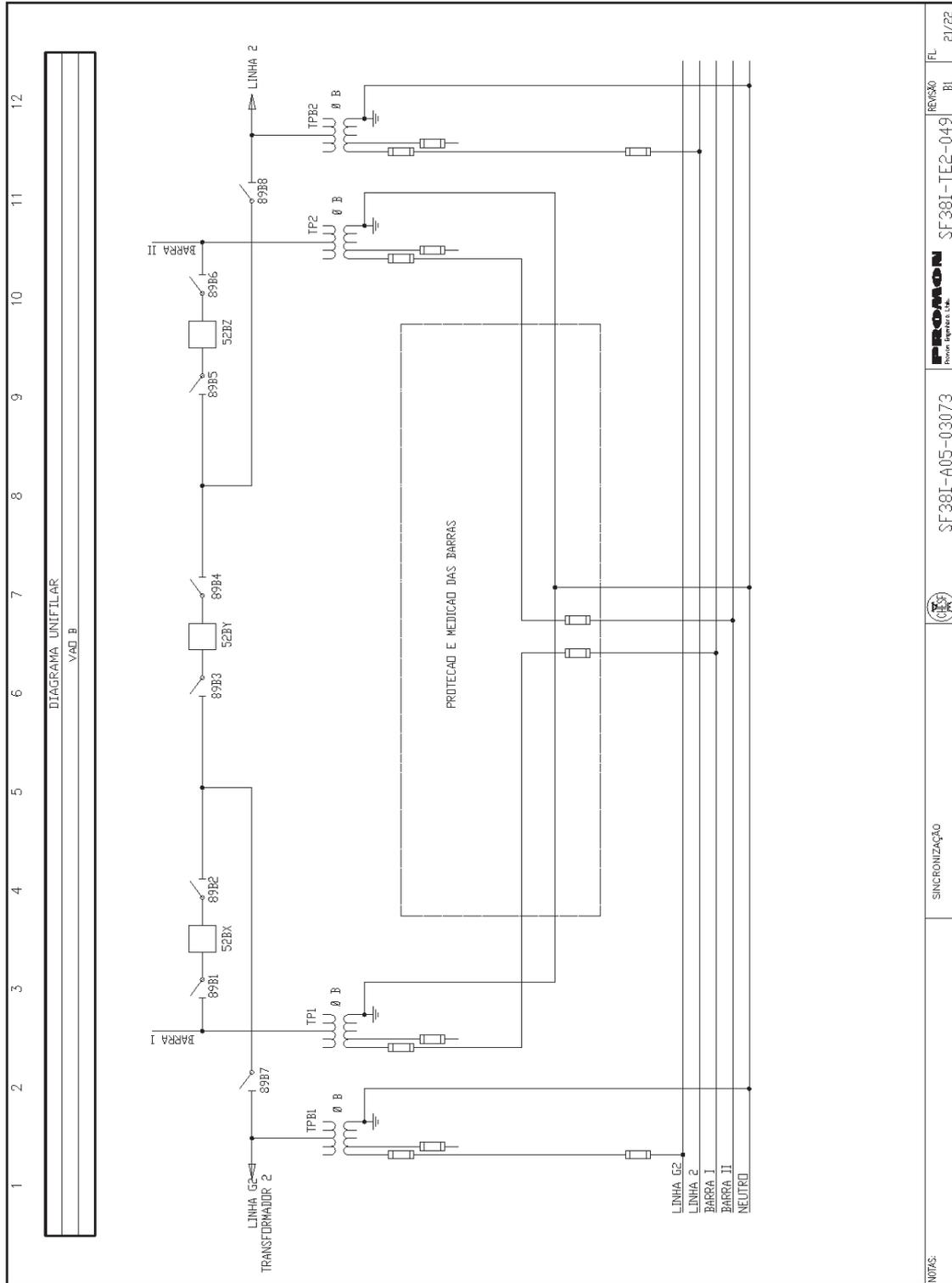
Fonte: Acervo Interest Engenharia.

Outra informação encontrada no caderno funcional exemplifica as entradas e saídas de sinais para o relé digital. São exemplos de sinais de entrada: posições das chaves seccionadoras, estado dos disjuntores, sinais de sensores de pressão e corrente dos equipamentos. Também são utilizadas como entradas, sinais provenientes de equipamentos de telecomunicações, utilizados para teleproteção. As saídas de um relé estão associadas a abertura e fechamento do disjuntor (*trip*), envio de sinais de telecomunicações e envio de sinais de sinalização e alarmes para o sistema supervisor ou anunciadores de eventos e unidades remotas de telecomunicação. A Figura 4, apresenta a página do caderno funcional que contém as entradas digitais de um relé e a folha 5 apresenta as saídas digitais de um relé.

Os diagramas lógicos são uma exemplificação através de circuitos lógicos, utilizando portas lógicas e blocos e sinais específicos dos relés, de como o relé se comportará para realizar as funções de acionamento e desligamento de equipamentos (intertravamentos), assim como para definir que tipo de falha será acionada, dada a presença de determinadas condições.

Esses diagramas variam de relé para relé, de acordo com os sinais que o fabricante disponibiliza em cada equipamento, assim como da visão do projetista de utilizar ou não dos diversos blocos internos dos relés, que disponibilizam lógicas prontas, ou utilizar as lógicas clássicas através da composição de portas lógicas, ver Figura 6.

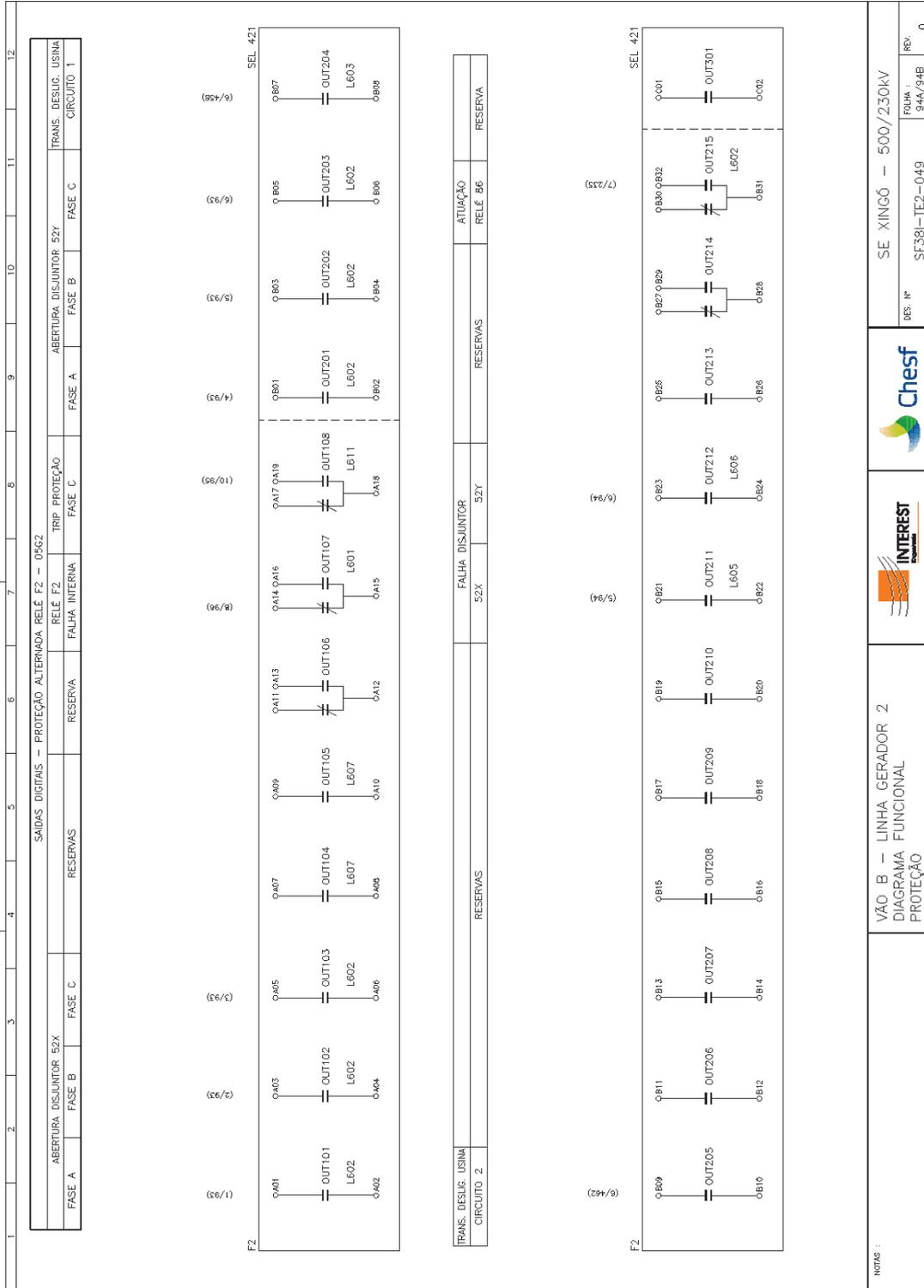
Figura 3 - Representação unifilar do arranjo da subestação.



NOTAS:	SINCRONIZAÇÃO	PROCON	REVISO	FL
		PROCON	B1	21/22
		PROCON	SF38I-TE2-049	
		PROCON	SF38I-A05-03073	

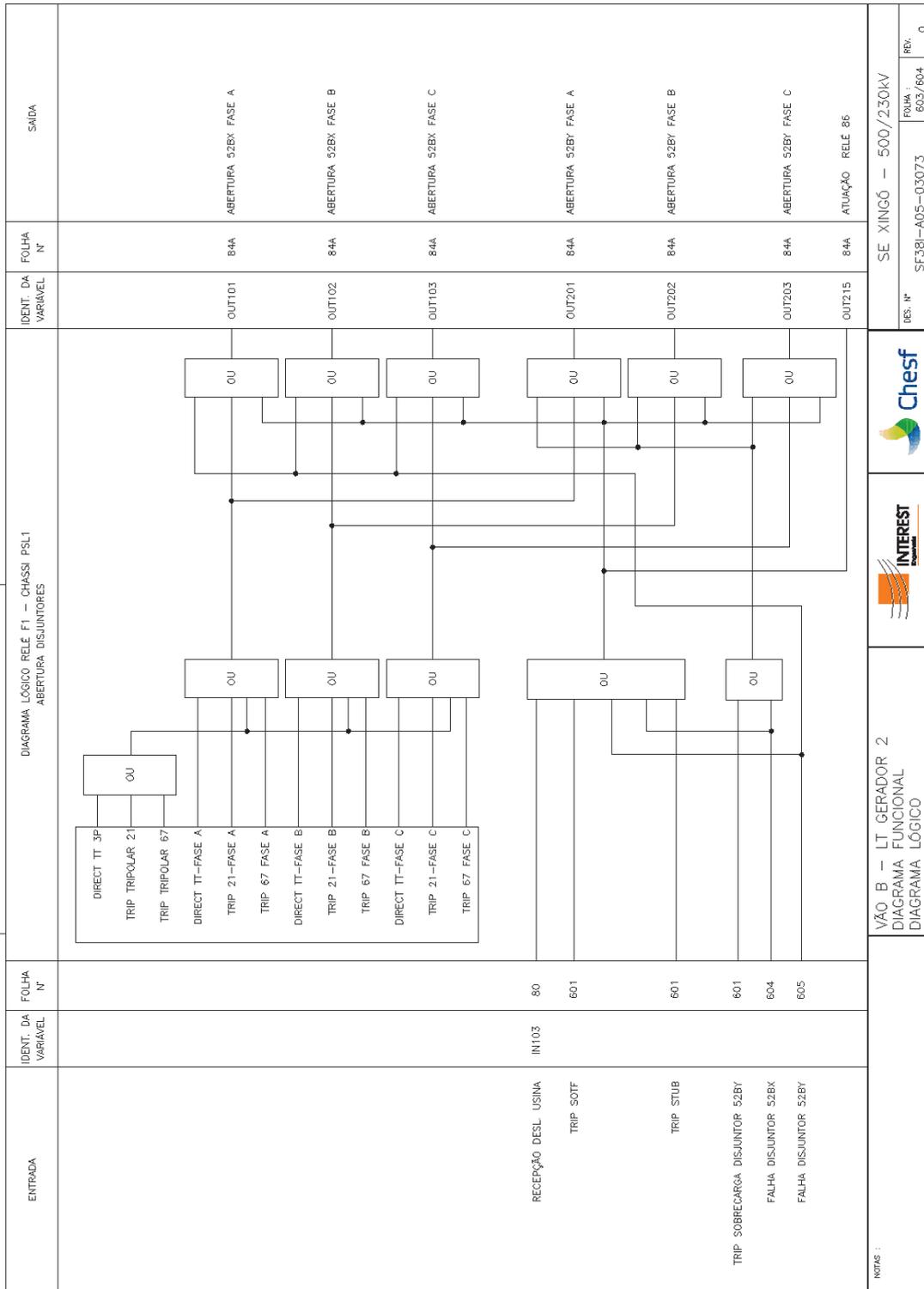
Fonte: Acervo Interest Engenharia.

Figura 5 - Representação das saídas digitais de um relé digital.



Fonte: Acervo Interest Engenharia.

Figura 6 - Representação das lógicas de proteção configuradas em um relé digital.



NOTAS :

VÃO B - LT GERADOR 2
DIAGRAMA FUNCIONAL
DIAGRAMA LÓGICO

SE XINGÓ - 500/230kV
RES. N° SF381-A05-03073
FOLHA : 603/604
REV. 0

Fonte: Acervo Interest Engenharia.

5.2 Inspeção de Painéis de Proteção

Como mencionado anteriormente neste relatório, um dos trabalhos realizados pela empresa é a construção de painéis de proteção para linhas de transmissão, como pode ser observado na Figura 7. Sendo assim, antes que o painel seja de fato energizado e colocado à prova na sua respectiva subestação, uma inspeção técnica é conduzida pelo cliente. Esta inspeção consiste na realização de alguns testes.

Figura 7 - Montagem dos chassis de proteção.



Fonte: Acervo Interest Engenharia.

5.2.1 Teste de Espessura da Pintura

O objetivo deste teste é verificar se o chassi apresenta uma camada de tinta adequada, a qual previna danos e arranhões. Para realizá-lo, utiliza-se um medidor de espessura. Para que o painel seja aprovado, devemos ter como resultado da medição uma camada de tinta de no mínimo 80 μm . A Figura 8 apresenta o equipamento utilizado neste teste.



Figura 8 - Medido de espessura.

Fonte: Acervo Interest Engenharia.

5.2.2 Teste de Aderência da Pintura

Este é um teste básico, no qual se utiliza uma fita de alta aderência para provar que a tinta aplicada ao painel está devidamente fixada. Com este objetivo, utiliza-se um corpo de prova que possui a mesma pintura do painel. Nela, aplica-se uma fita de alta aderência e, após retirá-la, verifica-se a integridade da pintura. O painel é aprovado caso a pintura continue intacta.

5.2.3 Medição da Isolação da Fiação

Este é talvez o teste principal da inspeção técnica. Na verdade o painel é submetido a dois testes para verificar a isolação entre sua fiação e a carcaça: a aplicação de alta tensão e a medição da resistência da fiação. Para tal, são utilizados dois aparelhos, o megômetro (medição da resistência da fiação) e o hi-pot (medição da corrente de fuga ao aplicar-se um alta tensão).

Primeiramente o painel deve ser preparado para os testes. Isto consiste na retirada da fiação de componentes suscetíveis a danos quando submetidos a alta tensão, como diodos, fusíveis, bobinas de relés auxiliares e o próprio relé digital. Além disto, com o intuito de fazer as medições contemplando toda a fiação do painel, um fio de cobre é utilizado para "jumper" todo os bornes de régua do chassi. Feito isto, conecta-se um dos terminais do megômetro nos "jumpers" e o outro terminal na carcaça do painel.

Então, aplica-se tensão com o megômetro durante um minuto. Deve-se obter um valor aceitável de resistência por volta de 60 MΩ. Vale salientar que as fiações ligadas à carcaça do painel (ligadas à barra de terra) devem estar desconectadas.

Logo após, aterrando-se o painel, conecta-se o positivo do hi-pot em um ponto de régua e o negativo na barra de terra. Aplica-se então uma tensão de 2,5kV por um minuto e mede-se a corrente de fuga. Esta não deve ultrapassar, por norma, 10mA. Este teste serve para medir a isolação entre a fiação do painel e a sua carcaça (corrente de fuga para a terra). Na Figura 9 pode-se ver a medição do hi-pot durante este teste.

Para finalizar, faz-se novamente o processo de medição da resistência da fiação com o megômetro. O valor da resistência deve ser bem próximo ao medido anteriormente.

Figura 9 - Medição da corrente de fuga através do hi-pot.



Fonte: Acervo Interest Engenharia.

5.2.4 Verificação de Potenciais, Entradas e Saídas do Relé

Finalizadas as etapas de inspeção física do painel, iniciam-se os testes de funcionalidades. Estes compreendem as verificações dos potenciais distribuídos por cada disjuntor do painel e das entradas e saídas digitais do relé digital.

Com o auxílio de um multímetro e seguindo os potenciais descritos no desenho funcional, liga-se um disjuntor de cada vez e mede-se tensão nos devidos pontos dos componentes do painel. Depois, testa-se as entradas digitais (IN) do relé. Para isto, com um "jumper", aplica-se potencial positivo nas INs e verifica-se as atuações na IHM do relé digital. Um procedimento análogo é feito para a verificação da funcionalidade das OUTs (saídas). Neste caso, aciona-se as saídas através da IHM do relé digital e verifica-se a atuação dos devidos relés auxiliares.

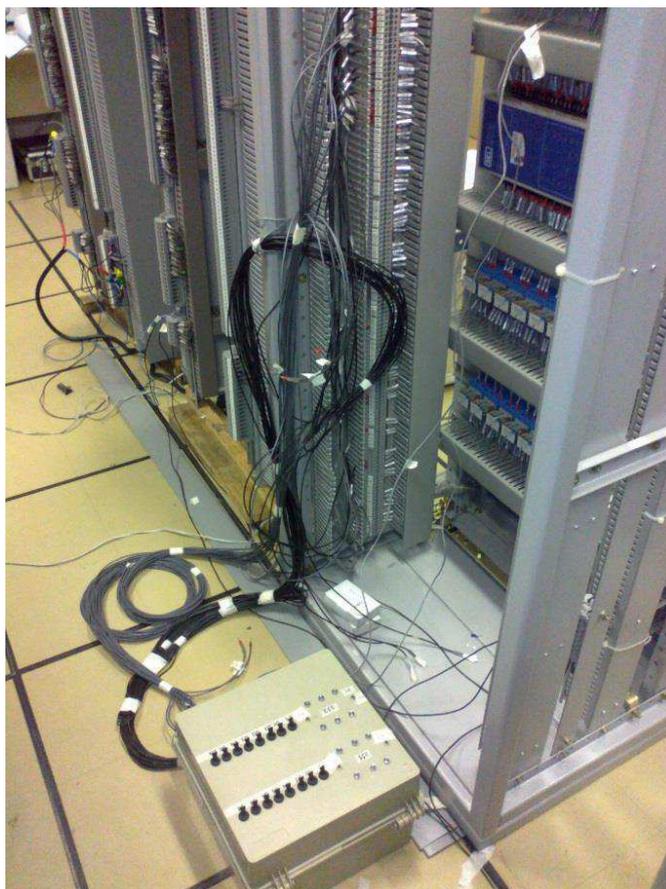
Com término deste teste, sendo o painel aprovado em todos os quesitos, o inspetor libera-o para o Teste de Aceitação em Fábrica - (TAF). Todos os testes descritos anteriormente foram conduzidos pelo estagiário diversas vezes, estando sempre presente, para validar os resultados, o inspetor da empresa cliente, a CHESF.

5.3 Acompanhamento de Teste de Aceitação de Fábrica

O TAF, ele tem como principal objetivo checar o correto funcionamento do relé de proteção após ter sido programado com a sua lógica de proteção e com suas ordens de ajustes. São conferidos todos os potenciais e contatos dos relés auxiliares previstos em projeto e também os sinais de comunicação entre relés e módulos adicionais, caso existam no painel.

Geralmente o teste inicia com a montagem da caixa de testes e de um equipamento chamado GIGA de testes. A GIGA nada mais é do que um equipamento que contém chaves, para simular posição de seccionadoras e atuação de binárias de entrada no relé de proteção e relés auxiliares, para simular a posição dos disjuntores da linha. Feito isso, inicia-se a conferência da distribuição de potenciais do relé através do desenho funcional. Em seguida, testa-se as entradas e saídas digitais do relé digital.

Figura 10 - Conexão entre GIGA e painel de proteção.



Fonte: Acervo Interest Engenharia.

No caso das saídas, é necessário observar se todos os contatos dos relés auxiliares estão atuando devidamente, medindo continuidade ou tensão nos seus terminais ou pontos de régua. Há ainda uma verificação visual das identificações dos equipamentos do painel e das anilhas da fiação.

Posteriormente, implante-se no relé de proteção a Ordem de Ajustes (OA) adequada para a linha que ele protegerá. A partir daí iniciam-se de fato os testes de proteção, como a atuação das funções de distância, sobrecorrente, sobretensão, perda de

potencial, fechamento sobre falta, entre outras. A cada êxito nos testes, as respectivas páginas do funcional são "amareladas", ou seja, pintadas com um marca texto para comprovar que o circuito foi testado.

Todo este procedimento de testes de proteção segue um roteiro recomendado pelo cliente, a fim de esgotar todos os testes possíveis e minimizar ao máximo problemas no campo.

5.3.1 Relé SEL421

O SEL-421 apresentado na Figura 11, contém todos os elementos de proteção e lógicas de controle necessário para proteger linhas de transmissão aéreas e cabos subterrâneos. O relé mede simultaneamente cinco zonas de proteção de distância de fase e terra e cinco zonas de proteção de distância de terra quadrilateral. Esses elementos de distância, em conjunto com os elementos opcionais direcionais de alta velocidade, seleção de fases em falta e distância de alta velocidade, são aplicados em esquemas de proteção de distância com zonas temporizadas e esquemas de teleproteção.

Figura 11 - Relé SEL421

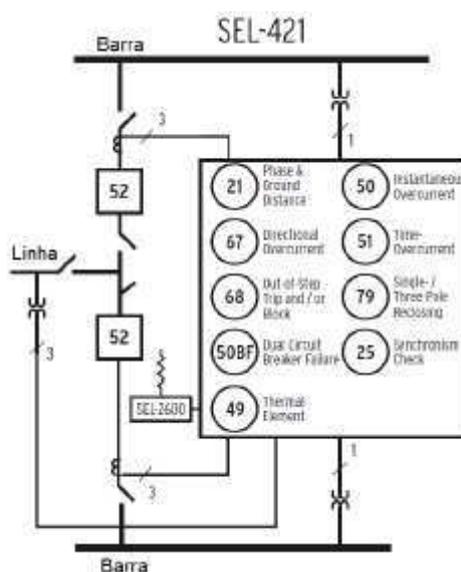


Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories

O SEL-421 é fácil de ser ajustado e usado em linhas típicas, ao mesmo tempo em que os ajustes das lógicas e os elementos de alta velocidade facilitam sua aplicação em linhas críticas e difíceis de serem protegidas. Esses relés foram utilizados no *retrofit*.

Uma visão funcional simplificada do relé pode ser observada na Figura 12.

Figura 12 - Visão funcional simplificada do Relé SEL421.



Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories

São elas:

- 21: Proteção de distância
- 67: Proteção de sobrecorrente direcional
- 68: Proteção de oscilação de potência
- 50BF: Proteção de falha do disjuntor
- 49: Elemento Térmico
- 50: Proteção de sobrecorrente instantânea
- 51: Proteção de sobrecorrente temporizada
- 79: Religamento
- 25: Check sincronismo

5.3.2 Caixa de Testes Omicron 356

Existem no mercado modernos equipamentos de testes para relés, que permitem testar todas as suas funções sob qualquer condição de curto. Permitem ainda a verificação dos ajustes parametrizados dos relés, além da identificação de problemas funcionais nos mesmos. Durante o estágio, com o intuito de realizar comissionamentos, foi necessário estudar e aprender a controlar a caixa de testes CMC 356 da Omicron Electronics.

Figura 13 - Omicron 356.



Fonte: Omicron Eletronics.

Este equipamento de teste oferece 6 saídas de corrente alternada, 3 saídas de tensão, 10 entradas digitais/analógicas, 5 saídas digitais binárias, 1 saída de tensão contínua e duas entradas de corrente contínua. É realmente uma ferramenta poderosa para testar relés. No entanto, o hardware em si não seria suficiente. Desse modo, a caixa de testes CMC 356 vem acompanhada pelo software que a controla, o Omicron Test Universe.

Figura 14- Test Universe, Omicron 356.

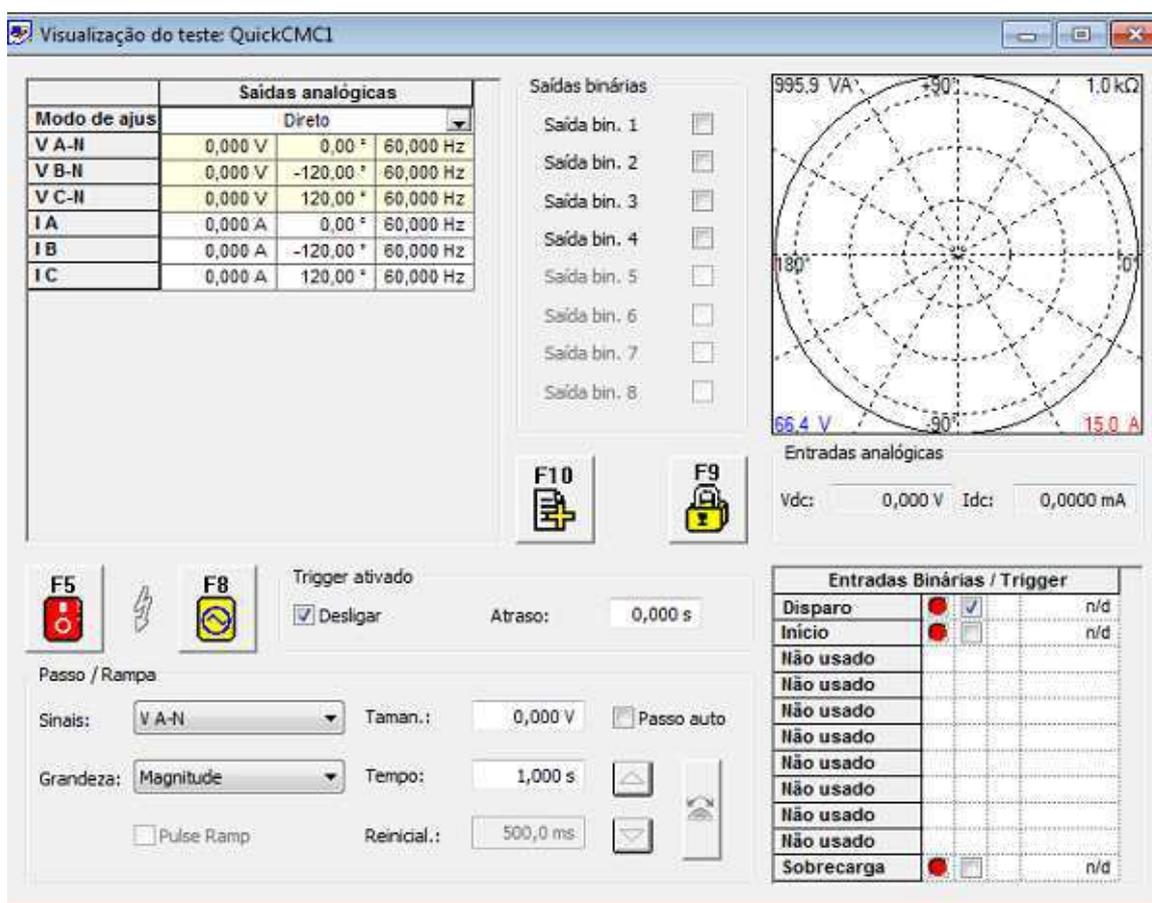


Fonte: Omicron Eletronics.

Como pode-se observar, o *software* dispõe de vários módulos de testes. A escolha do modo adequado depende do tipo de teste que o usuário deseja realizar. Os módulos mais utilizados são o QuickCMC e o State Sequencer.

- *QuickCMC*: o usuário pode definir facilmente os valores de tensão e corrente para a falta que deseja simular. Também é possível verificar a atuação das binárias de entradas que estão sendo utilizadas, inclusive o momento exato que elas atuaram. Além disso, pode-se simular binárias de saída e ainda gerar um relatório com os resultados e condições do teste.
- *State Sequencer*: o usuário pode configurar uma sequência de estados que o equipamento de testes deve seguir. É possível informar o tempo de cada estado ou passar de um para o outro através de uma tecla. Este módulo é mais adequado para simular funcionalidades mais complexas do relé, como o religamento automático.

Figura 15 - QuickMC.



Fonte: Omicron Elettronics.

Figura 16 – StateSequencer.

Nome	1			2			3			4		
V L1-E	66.40 V	0.00°	60.000 Hz	5.000 V	0.00°	60.000 Hz	0.000 V	0.00°	60.000 Hz	66.40 V	0.00°	60.000 Hz
V L2-E	66.40 V	-120.00°	60.000 Hz	66.40 V	-120.00°	60.000 Hz	0.000 V	-120.00°	60.000 Hz	66.40 V	-120.00°	60.000 Hz
V L3-E	66.40 V	120.00°	60.000 Hz	66.40 V	120.00°	60.000 Hz	0.000 V	120.00°	60.000 Hz	66.40 V	120.00°	60.000 Hz
IL1	2.000 A	-79.30°	60.000 Hz	10.00 A	0.00°	60.000 Hz	0.000 A	0.00°	60.000 Hz	0.000 A	0.00°	60.000 Hz
IL2	2.000 A	160.70°	60.000 Hz	500.0 mA	-120.00°	60.000 Hz	0.000 A	-120.00°	60.000 Hz	0.000 A	-120.00°	60.000 Hz
IL3	2.000 A	40.70°	60.000 Hz	500.0 mA	120.00°	60.000 Hz	0.000 A	120.00°	60.000 Hz	0.000 A	120.00°	60.000 Hz
V(t)-1	66.40 V	-120.00°	60.000 Hz									
C/MC Ret	0 output(s) active											
Trigger	5,000 s			100,0 ms			4,000 s			4,000 s		

Fonte: Omicron Elettronics

5.4 Auxílio e Elaboração de Projetos Elétricos do *Retrofit*

Os projetos elétricos de um terminal de linha correspondem a projetos de Medição, Proteção, Controle, Comando e Supervisão (MPCCS) sendo que os projetos do *retrofit* se restringem à substituição da proteção. Mas a substituição da proteção tem implicações em circuitos de controle, de supervisão, de intertravamentos e comandos. Os projetos elétricos de cada terminal de linha são divididos em partes chamadas de cadernos. Os cadernos típicos são:

- Diagrama funcional: é a principal parte do projeto, pois contém toda a estrutura da proteção da linha com os diversos componentes e equipamentos interligados e as filosofias de proteção empregadas, assim como também mostra os diagramas lógicos de proteção e teleproteção;
- Diagrama de fiação: mostra como os componentes de um painel estão conectados entre si;
- Diagrama de interligação: mostra como componentes do sistema de proteção estão interligados, entre eles painéis de proteção, painéis de relés auxiliares para sinalização, painéis de comando, disjuntores, seccionadoras, etc.

A elaboração dos cadernos funcionais do *retrofit* é feita a partir dos cadernos existentes fornecidos pela Chesf, cabendo ao projetista substituir a cadeia de proteção principal por dois relés digitais (proteção principal e alternada) e fazer as devidas modificações nos circuitos ligados à proteção, como TP, TC, sinalização, oscilografia, etc..

Cada painel do sistema de proteção, supervisão e controle tem um projeto de fiação ou caderno de fiação, que mostra como todos os componentes internos estão conectados entre si. As fiações são projetadas de acordo com às ligações mostradas no diagrama funcional. Os

painéis de proteção são formados basicamente por diodos, minidisjuntores, supressores de surto, fusíveis, relés digitais, relés auxiliares, e réguas de bornes. Devido ao *retrofit* diversos painéis têm suas fiações modificadas.

6 Conclusão

O sistema elétrico brasileiro está em processo de renovação. É um dos maiores sistemas interligados de energia do mundo, o que faz com que novos problemas sejam encontrados frequentemente. A área de proteção do sistema elétrico em conjunto com a automação das usinas e subestações é uma formação profissional bem específica que é bastante requisitada no mercado de trabalho, sendo inclusive difícil encontrar profissionais qualificados para atuação, principalmente na região nordeste, onde a maioria das empresas atuantes vem da região sul ou do exterior.

A realização do estágio na empresa Interest Engenharia foi de suma importância para a complementação da formação de engenheiro eletricista. Atuar como engenheiro de campo na área de automação de subestações e proteções de sistemas elétricos foi desafiador e ao mesmo tempo de imenso aprendizado, pois permitiu conhecer uma nova vertente da profissão e me qualificar para atuar em uma área de grande desenvolvimento no país e com carência de mão de obra especialista.

A formação especialista em controle e automação foi de suma importância para realização do estágio, pois conceitos aprofundados para atuação com relés digitais e sistemas supervisórios já haviam sido estudados em disciplinas ministradas nessa ênfase do curso. Muito mais importante foi a formação generalista ministrada pelo curso de engenharia elétrica da UFCG. Possuir conhecimento básico sobre conceitos de eletrotécnica e sobre noções de telecomunicações permitiu uma rápida adaptação e facilidade no entendimento do funcionamento do sistema e na implementação de soluções desenvolvidas ao longo do estágio.

7 Bibliografia

KINDERMANN, Geraldo. Proteção de Sistemas Elétricos de Potência- Vol. 1, 2 ed. UFSC, Florianópolis, 2005.

SEL. Instruction Manual, -421-4, -5 Relay Protection and Automation System.

SILVA, Márcio Gabriel Melo. Avaliação do Desempenho de Relés de Proteção Digitais. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2012.

SCHWEITZER. **Tutorial de Diagramas Lógicos de Esquemas de Proteção e Controle**. 2. ed. Campinas - SP: Schweitzer Engineering Laboratories, Brasil LTDA., v. 1, 2013. 237 p.